

차량 부품의 노면 가진 특성을 고려한 래틀과 스킵 현상 검출 방법의 개발[§]

류수정^{*†} · 전인기^{*} · 최재민^{*} · 이원구^{**} · 우재철^{***}

* 브이피코리아(주), ** 엔브이에이치코리아(주), *** 덕양산업(주)

Development of Rattle and Squeak Detection Methodology Considering Characteristics of Road Vibration Input

Su Jung Lyu^{*†}, In Ki Jun^{*}, Jae Min Choi^{*}, Won Ku Lee^{**} and Jae Chul Woo^{***}

* VP KOREA, INC.,

** NVH KOREA, INC.,

***Duckyang Ind. Co., Ltd.

(Received May 29, 2012 ; Revised November 23, 2012 ; Accepted February 14, 2013)

Key Words: BSR(이음), Rattle(래틀), Squeak(스킵), Globe Box (글로브박스), Sub-Structure (부분구조 모델)

초록: BSR 소음은 특히 자동차에서 도로 표면과 엔진 및 차량내부 스피커등의 진동에 의해 발생한다. 이러한 현상은 진동하는 시스템의 약화된 체결부나 접촉부에서 공진모드와 가진력의 중첩으로 인해서 발생하는 불규칙한 타격이나 스틱슬립(stick-slip)으로 발생한다. 이와 같은 국부적인 현상을 관찰하기 위해서 모든 BSR 발생 부위를 상세 유한요소 모델로 만드는 과정은 현실적으로 불가능 하므로 부분구조 모델 (Sub-structure) 해석 기술이 필요하다. 이번 연구에서는 부분구조 모델 (sub-structure) 해석 기술을 적용하여 실제 가진력이 구조물을 통해 전달되어 발생하는 래틀(rattle)과 스킵(Squeak)을 검출하고 분석하는 해석적인 방법을 정리하였다.

Abstract: BSR noise emerges in a vehicle as a result of road vibrations, engine vibrations, and speaker vibrations. BSR noise occurs with an irregular impact or stick slip friction phenomenon as the influence of the resonance mode when the vibration input load is transferred along poor joint and contacting pairs of the system. A sub-structure method of finite element analysis is required to detect impacts and slip in the full vehicle model. This study presents a method for sub-structure modeling and a rattle and squeak detection methodology that considers the characteristics of road vibration inputs.

1. 서 론

1.1 BSR 현상 고찰

BSR(이음)은 Buzz, Squeak, Rattle 의 앞글자를 따서 각각 판넬 자체 진동에 의한소음, 두개의 부품이 접촉되어 미끄러지며 발생하는 소음, 두개의 부품이 타격되어 나타나는 소음을 통틀어서 말한다. 모든 구조물은 일반적으로 설계 사양에 따라 체결

되고 조립되어 하나의 시스템으로 구성된다. 이러한 시스템은 Fig. 1 과 같이 간략화하여 나타낼 수 있으며, 이러한 시스템이 실제 구동 상태에서는 외부 가진력에 의해 진동이 발생하고 그로인하여 BSR 이 발생한다. 이 중에서 판넬 자체의 진동을 제외하고 접촉부에서의 현상을 관찰하면 접촉면과 수직한 방향과 수평한 방향의 성분을 나누어 래틀(Rattle)과 스킵(Squeak)으로 구분할 수 있다.

이러한 현상은 최근 자동차 고품질화로 인해 주요 문제로 인식되고 있으며, John 은 J.D Power 품질 기준에 근거한 충돌 안전성과 함께 BSR 품질을 만족하는 설계를 진행하였다.⁽¹⁾ 현재 자동차 업계에서 실질적인 BSR 예방 설계를 위한 해석 기술들은 대부분 Naganarayana, Mohamed 의 연구 사

§ 이 논문은 2012 년도 대한기계학회 CAE 및 응용역학부문 춘계 학술대회(2012. 5. 10-12, 제주 휘닉스아일랜드) 발표논문임

† Corresponding Author, sjlyu@vp-korea.co.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

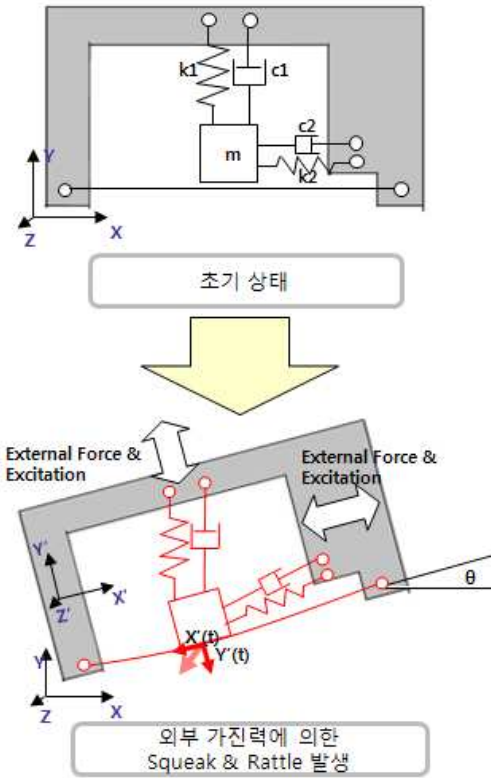


Fig. 1 Diagram of BSR phenomenon

례와 같이 모듈단위로 개발되고 있다.^(2,3) 하지만 대부분의 방법이 차량 전체 혹은 모듈단위로 진행되어 BSR 발생 상황에서 특정 부품만 별도로 관찰하여 구조 개선을 하기에는 높은 해석 비용과 하드웨어 비용으로 인하여 어려운 부분이 있다.

따라서 본 연구에서는 BSR 이 발생하는 부분을 부분구조 모델(Sub-structure)로 하고 그외의 부분을 전체구조 모델(Main-structure)로 구분하여 효과적으로 BSR 현상을 검증할 수 있다. 특히 차량과 같이 대형 구조물의 경우 국부적인 위치에서 나타나는 BSR 현상을 분석하기 위해서는 전체구조 모델의 자유도를 줄이고 부분구조 모델을 효과적으로 관찰하는 것이 하드웨어 비용이나 분석 시간 절감에 크게 도움이 된다. 다만 전체구조 모델에 가해지는 진동이 부분구조 모델로 전달될때는 자체 강성 및 댐핑으로 인해 처음과 다르게 변형되며 이러한 특성을 반드시 고려해야 한다.

2. 본 론

2.1 Sub-structure(부분구조 모델) 해석

완성차의 도로 주행시험을 통한 BSR 현상 파악은 많은 비용이 발생하며 정확한 위치 및 크기의 검출도 어렵기 때문에 제조 프로세스에 있어서 각

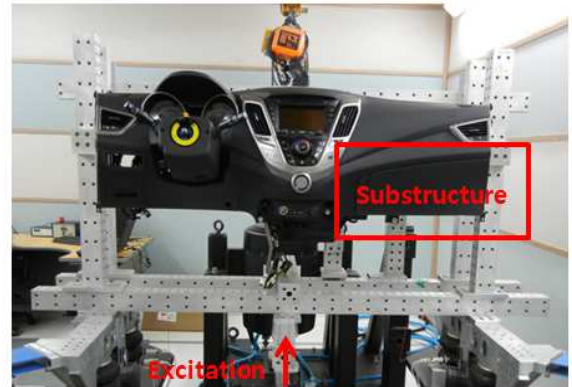


Fig. 2 BSR test model

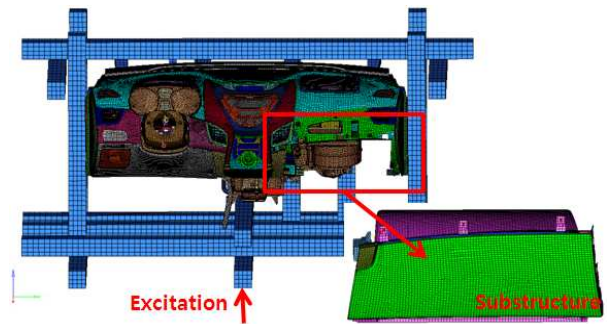


Fig. 3 BSR analysis model

모듈단위의 시험으로 BSR 평가가 이루어진다. 자동차 콕핏(Cockpit) 모듈의 진동 시험을 위한 모델 구성 및 가진조건을 Fig. 2 와 같이 나타내었다. 이는 지그를 구성하고 실차 조립 상태를 고려하여 지그와 콕핏 모듈과의 주요 체결부를 연결 하고, 지그의 하단에서 가진기를 통하여 진동 입력을 부가한 후에 BSR 의 발생 유무 및 그 크기를 검출하는 방법이다.

Fig. 3 과 같이 시험모델과 동일한 해석모델을 구성하였고 전체구조 모델과 함께 글로브박스(Globe Box) 부분을 부분구조 모델로 표현하였으며, 시험과 동일하게 지그를 모델링하고 지그 하단에서 진동입력을 부가하였다.

위와 같이 해석적인 방법으로 BSR 현상을 재현하고 그에 대한 비교 및 검증을 하기 위하여 앞의 해석모델과 상용 유한요소 해석 프로그램인 NASTRAN 을 이용하여 해석 결과를 도출하였다.⁽⁴⁾ 해석 수행 과정에 있어서 몇가지 단계를 거치게 되는데 그 첫번째로 모델을 생성함에 있어서 전체구조 모델과 부분구조 모델의 체결부에 각각 절점을 생성하고 절점의 번호를 일치시킨다. 두번째로 전체구조 모델의 모드해석을 수행하여 결과를 확인한다. 세번째로 앞의 전체구조 모델 해석 결과

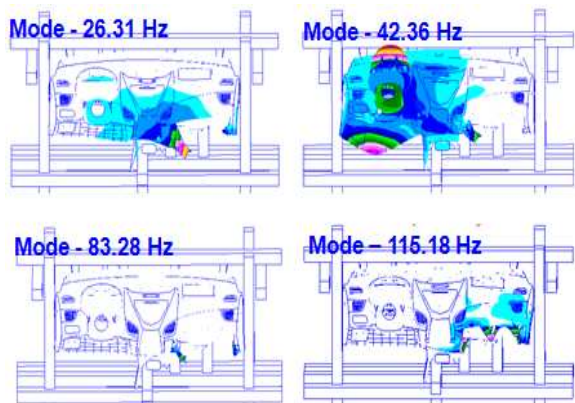


Fig. 4 Main-structure analysis result

에서 부분구조 모델과 체결부의 절점에서 발생한 고유벡터(Eigen Vector)를 추출하여 부분구조 모델에 일치시킨다. 네번째로 이렇게 체결부에서 전체 모델의 진동특성이 반영된 부분구조 모델의 모드 해석을 수행한다. 마지막으로 이러한 모드해석 결과를 이용하여 특정 부분에 진동 입력을 추가하여 주파수응답 해석을 수행하고 그 결과를 관찰한다.

위의 단계별 해석 과정에 있어서 먼저 전체구조의 모드해석 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 주요 관심 주파수인 20~200Hz까지의 모드 특성을 관찰하고, 그 중에서 글로브박스와의 체결부에서 고유벡터가 크게 발생하는 주요 모드형상을 나타내 보았다. 그 결과로 일부 운전석 부근에서 나타나는 일부 모드를 제외하고 전체구조와 부분구조 모델인 글로브박스(Globe Box)의 체결부에서 주로 모드가 발생하여 진동이 전달되는 특성을 확인 할 수 있다. 이에 따라 이번 연구에서는 주로 글로브박스의 BSR을 해석적인 방법으로 평가하였다.

다음 단계로 전체구조 모델의 모드 특성과 부분구조 모델과의 체결부에서 고유벡터가 반영된 모드 해석의 결과를 이용하여 부분구조 모델인 글로브박스(Globe Box)만의 주파수 응답 해석(FRF)을 할 수 있으며, 그 결과를 Fig. 5에 표현하였다.

이러한 해석의 장점으로는 부분구조 모델만의 FRF 해석이 이루어 지므로 전체구조 모델에 비해서 해석 시간 및 해석 결과 파일의 절감이 가능하다. 또한 전체구조 모델 해석 결과에서 저장된 고유벡터를 이용하므로 부분구조 모델의 설계 변경에 따라서 해석 모델의 변경이 손쉽게 이루어지고, 그에 따른 영향도를 관찰하는 작업의 효율을 높일 수 있다.

이렇게 단계적으로 진행된 모듈 단위의 해석결과로 글로브박스의 진동을 관찰하면 실제적인



Fig. 5 Sub-structure analysis result

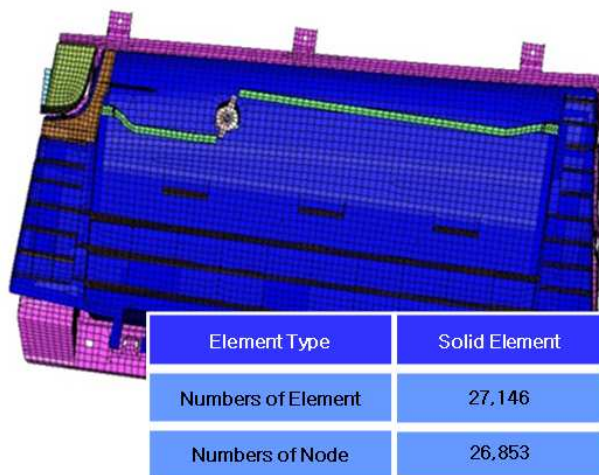


Fig. 6 Globe box analysis model

BSR 발생부위를 예측할 수 있다.

일반적으로 구조해석이나 진동해석을 위하여 유한요소 모델을 구성함에 있어서 주요 체결부나 구조물이 아닌 작은 구동 메커니즘은 고려하지 않는다. 하지만 실제 현장에서는 이러한 메커니즘의 진동 마찰 및 타격에 의하여 주로 BSR이 발생하며, 이러한 이유로 인하여 실제적인 BSR 관찰을 위해서는 상세 유한요소 모델을 구성해야 한다. 특히 글로브박스 도어와 내부 구조물을 연결하는 래치 메커니즘 부분에서 진동이 크게 일어나며 이때의 상세 유한요소 모델을 아래 Fig. 6에 표현하였다. 그림은 글로브박스의 전면 덮개를 제거하여 관찰할때의 형상이며 모델의 상단에서 좌우로 연결된 래치 메커니즘을 확인할 수 있다.

이렇게 상세 유한요소 모델로 업데이트된 글로브박스 모델과 앞에 설명한 부분구조 모델 해석방법을 이용하여 글로브박스의 진동해석을 하였으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림은 글로브박스의 전면 덮개를 제거하고 관찰하였으며, 붉은색과 파란색으로 보이는 글로브박스의 내부에 있는 래치 메커니즘의 진동이 크게 발생하고 이로 인해 글로브박스 외벽과의 마찰 및 타격에 의해 BSR

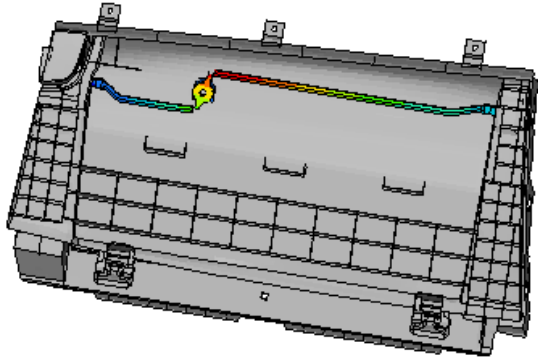


Fig. 7 Globe box analysis result

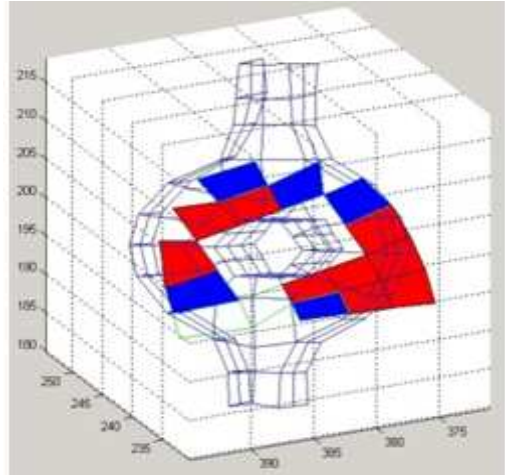


Fig. 9 BSR contour plot

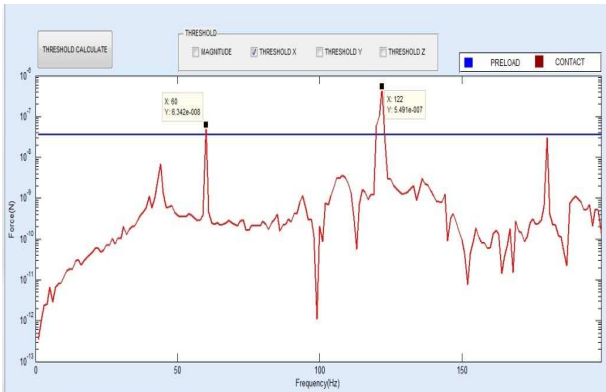


Fig. 8 BSR threshold

이 발생할 것을 예상할 수 있다. 이렇게 진동해석 결과를 이용하여 BSR 발생부위를 예측할 수 있으며 또한 이때의 접촉력을 이용하여 BSR 발생 주파수 및 BSR의 크기를 계산할 수 있다.

2.2 진동해석 해석결과를 이용한 BSR 분석

글로브박스의 초기 모델의 접촉해석 결과 중력 및 제조 특성으로 인하여 접촉력이 발생하며, 주파수 영역에서도 두 부품간에 마찰에 의하여 접촉력이 발생한다. 이렇게 초기 접촉력과 주파수응답 해석 결과의 접촉력을 비교하여 초기 접촉력보다 주파수 영역에서의 접촉력이 클때 두 부품이 떨어져서 진동한다고 할 수 있으며, 이렇게 어떤 주파수에서 BSR이 발생하는 기준을 정하여 BSR의 발생 유무를 판정할 수 있다.

아래 Fig. 8는 글로브박스 모델에서 발생한 초기 접촉력을 파란색으로 표현하고 주파수 영역에서의 접촉력을 붉은색으로 표현하여 그 크기를 비교하였으며, 그 결과 60Hz, 120Hz 부분에서 BSR이 발생할 수 있음을 예측한 결과이다.

또한 접촉력은 접촉면에 수직한 방향과 수평한 방향으로 분리하여 추출이 가능하다. 서론에서 표

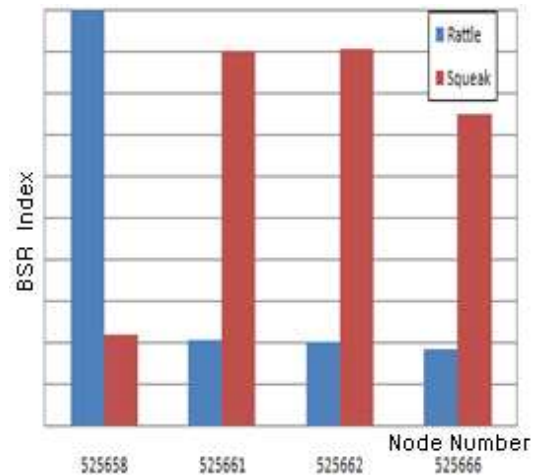


Fig. 10 Compare of BSR quantity

현된 개념도에서 두 부품의 수직한 방향으로 작용하는 하중은 래틀을 의미하며 수평한 방향으로 작용하는 하중은 스킵을 의미하므로 각각을 구별하여 표현할 수 있다. 이렇게 래틀과 스킵으로 구분하여 분석한 결과는 Matlab GUI를 이용하여 가시화 하였다.

접촉면의 방향성을 고려한 접촉력을 이용하여 래틀과 스킵이 발생하는 부분을 Fig. 9와 같이 표현 하였으며, 주요 BSR 발생 부분이라고 판단된 래치 매커니즘의 중앙 회전 조인트 부분에서 발생하는 래틀과 스킵을 가시적으로 나타내었다. 또한 이때 래틀과 스킵에 대하여 각각의 크기를 예측하여 Fig. 10 같이 비교하여 표현하였으며, 그 크기는 표준화(Normalize)하여 정량적으로 비교하였다.

그래프에서 X 축은 유한요소 모델에서 BSR이 발생한 부분의 노드번호와 그 위치에서 Rattle 과 Squeak을 구분하였으며, Y 축은 Rattle 과 Squeak의 상태적인 크기이다.

3. 결 론

각핏모듈에서 부분구조 모델 해석 기법을 이용하여 글로브박스에 BSR 이 발생하는 위치 및 주파수를 추출하는 새로운 효과적인 방법을 제시하였으며, 이때 래틀 및 스크의 크기를 분석하여 나타내었다. 또한 차후에는 BSR 의 실질적인 평가를 위해서 이렇게 발생하는 소음을 시간영역에서 재현하고 이러한 소음에 대하여 설계자가 직접 평가할수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 지식경제부(MKE, Korea)가 지원하는 산업원천기술개발사업 (과제번호: 2010-03-016)에 의해 수행되었고 이에 감사를 표합니다.

참고문헌

- (1) Lin, J. Z. and Pitrof, S. M., 2004, "Analytical Design of Cockpit Modules for Safety and Comfort" SAE, 2004-01-1481.
- (2) Naganarayana, B. P., Shankar, S. and Bhattachar, V. S., 2001, "N-Hance: Software for Identification of Critical BSR Locations in Automotive Assemblies Using Finite Element Models" SAE, #03NVC-283
- (3) EI-Essawi, M., Lin, J. Z. and Sobek, G., 2004, "Analytical Predictions and Correlation With Physical Tests for Potential Buzz, Squeak, and Rattle Regions in a Cockpit Assembly" SAE, 2004-01-0390
- (4) MSC.software, 1997, MSC/NASTRAN Basic Dynamic Analysis User's Guide, The MacNeal-Schwendler Corporation, Los Angeles, PP. 305~306.